

VARIABILIDADE FENOTÍPICA DE GENÓTIPOS DE CAFÉ CONILON COM BASE EM CARACTERES RELACIONADOS À QUALIDADE DOS FRUTOS

Vinicius Alves Porto Rodrigues¹, Matheus Alves Silva¹, Diego Pereira do Couto¹, Marcia Flores da Silva Ferreira¹, Adésio Ferreira¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Agronomia, Alto Universitário, s/nº, Bairro Guararema, Alegre – ES, CEP 29500-000, Brasil. viniciusbio1311@gmail.com, alvesmatheuss21@gmail.com, diego_couto@hotmail.com, mfloressf@gmail.com, adesioferreira@gmail.com

Resumo

A qualidade do café é condicionada por fatores genéticos e ambientais, que afetam diretamente as propriedades sensoriais da bebida. Este estudo avaliou a variabilidade fenotípica de 25 genótipos de café conilon (*Coffea canephora*) com base em caracteres relacionados à qualidade dos frutos tais como peso de frutos maduros, peso de frutos restantes, porcentagem de frutos boa e uniformidade de maturação. Por meio da análise de agrupamento, identificou-se três grupos. O grupo 1, constituído por um único genótipo, destacou-se por apresentar o maior peso de frutos maduros e a maior uniformidade de maturação, aliados aos menores valores de frutos restantes e boa. O grupo 2, formado por três genótipos, caracterizou-se pela menor uniformidade de maturação. Por fim, o grupo 3, o mais numeroso (21 genótipos), apresentou a maior porcentagem de frutos boa. Os resultados identificam variabilidade entre os genótipos avaliados, o que é promissor para programas de melhoramento genético voltados para a qualidade dos frutos.

Palavras-chave: *Coffea canephora*; Melhoramento Vegetal; Seleção.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias, Agronomia.

Introdução

Nos últimos anos, os grãos de café evoluíram de um produto primário para um objeto de investigação científica (Febrianto *et al.*, 2023). Neste contexto, a qualidade é definida como a avaliação e percepção das características sensoriais, físicas, de densidade e sabor residual após a ingestão do café, atendendo às expectativas, sejam elas claras, sugeridas ou obrigatórias, dos consumidores em relação à bebida (Toledo *et al.*, 2016). Essa qualidade é influenciada por diversos fatores que afetam as propriedades físicas, químicas e sensoriais dos grãos (Febrianto *et al.*, 2023), sendo que aspectos genéticos, climáticos, de manejo, colheita e processamento podem ser ajustados para assegurar uma bebida de superior qualidade (Pereira *et al.*, 2019; Febrianto *et al.*, 2023).

Diante da crescente demanda por cafés de qualidade superior, a avaliação fenotípica de características que podem afetar a qualidade da bebida torna-se essencial para orientar programas de melhoramento genético (Febrianto *et al.*, 2023). Dentre essas, destacam-se o peso dos frutos maduros, o peso dos frutos restantes, a porcentagem de frutos boa e a uniformidade de maturação, atributos que refletem diretamente a qualidade do lote e a eficiência do processamento (Silveira *et al.*, 2016; Gonzalez *et al.*, 2019).

A variabilidade genética em *Coffea canephora* é a base para programas de melhoramento que visam à obtenção de cultivares produtivos, com qualidade de bebida superior e adaptação a diferentes condições ambientais (Warschefsky *et al.*, 2014; Kiwuka *et al.*, 2021). A identificação de genótipos superiores depende da correta avaliação da variabilidade fenotípica disponível na população, permitindo identificar materiais promissores e orientar cruzamentos estratégicos (Babova *et al.*, 2016). Assim, a caracterização fenotípica representa uma etapa fundamental para a obtenção de dados precisos sobre o desempenho agrônomico e a avaliação do potencial de qualidade dos genótipos.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade fenotípica de genótipos de café conilon (*C. canephora*) a partir de descritores morfológicos diretamente relacionados à qualidade dos frutos. A análise buscou compreender como essas características se distribuem entre os genótipos, identificando materiais promissores para compor futuras estratégias de seleção no melhoramento genético do café conilon.

Metodologia

O experimento foi implantado em 2018, no município de Mimoso do Sul-ES, no espaçamento de 2,5 × 1,0 m, utilizando delineamento em blocos aumentados de Federer. Este experimento é constituído por 1.940 genótipos seminais distribuídos entre 388 famílias de meios-irmãos. Cada família é oriunda de uma matriz. As matrizes estão instaladas em lavouras remanescentes de propagação seminal do sul do Espírito Santo. Dentre os 1.940 genótipos, para este estudo foram selecionados 20 com base no potencial produtivo. Foram acrescidos cinco clones comerciais utilizados como controle no experimento (A1, P2, Verdin, BRS e RO), totalizando 25 genótipos.

Os dados fenotípicos foram coletados no ano de 2023, por meio de colheita manual individualizada dos frutos por planta, realizada entre os meses de maio e agosto. Esse período corresponde ao pico da maturação reprodutiva dos cafeeiros na região sul do Espírito Santo, quando aproximadamente 80% dos frutos por planta apresentavam coloração compatível com o estágio fisiológico ideal de colheita.

Após a colheita, os frutos foram transportados para o Laboratório de Preparo de Amostras Vegetais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE/UFES), localizado no município de Alegre – ES. No laboratório, os frutos foram triados manualmente e classificados visualmente em duas categorias: frutos maduros (PFM) e frutos restantes (compostos por frutos verdes, verde-cana, passas e secos) (PFR). Em seguida, realizou-se a pesagem separada dos frutos de cada classe, expressa em quilogramas.

A variável uniformidade de maturação (UNI) foi estimada individualmente por planta, com base na razão entre o PFM e o peso total dos frutos colhidos (soma de PFM e PFR), expressando o grau de homogeneidade da maturação no momento da colheita. Assim, quanto mais próximos de 100% estiverem os valores de uniformidade, maior será a proporção de frutos maduros no genótipo, o que é benéfico para a qualidade do grão. Para a determinação da porcentagem de frutos bóia (NFB), três repetições de 100 frutos maduros por genótipo foram submetidas ao teste de flutuabilidade. Os frutos foram imersos em baldes de PVC com capacidade de 20 litros, contendo água à temperatura ambiente (~25 °C). Após estabilização, contabilizou-se o número de frutos que flutuaram, classificados como boia. Nesse contexto, quanto menor a quantidade de frutos que boiam, melhor, pois indica que os genótipos apresentam baixa ocorrência de frutos malformados.

Os dados fenotípicos foram padronizados e utilizados para o cálculo da distância Euclidiana média padronizada entre os genótipos. O agrupamento foi realizado pelo método UPGMA, com delimitação dos grupos pelo critério de Mojena (Mojena, 1977). A estrutura de agrupamento foi representada por meio de dendrograma retangular, e a variabilidade entre os genótipos foi analisada por Análise de Componentes Principais (PCA). Todas as análises foram conduzidas no software RStudio (RStudio Team, 2025).

Resultados

Observou-se ampla variação nos valores das características avaliadas entre os genótipos. Os dados de PFM variaram de 0,48 a 8,13kg, enquanto os de PFR oscilaram entre 0,06 e 2,66kg. Para UNI, os valores estiveram compreendidos entre 39,10 e 89,25%. Já os valores de NFB apresentaram amplitude de 0,33 a 28,33%.

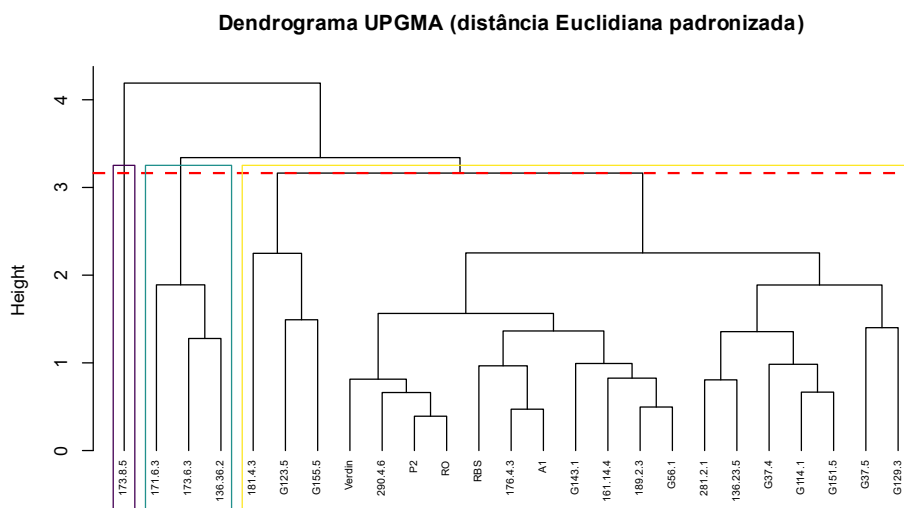
Por meio do agrupamento hierárquico verificou-se a formação de três grupos (Figura 1). As características PFM, PFR, NFB e UNI foram determinantes para a segregação dos genótipos. O Grupo 1, formado exclusivamente pelo genótipo 173.8.5, destacou-se em relação aos demais por apresentar os maiores valores de PFM (8,13kg) e UNI (78,86%), concomitantemente aos menores valores de PFR (2,18kg) e NFB (1,33%).

O Grupo 2, composto por três genótipos (171.6.3, 173.6.3 e 136.36.2), caracterizou-se por menores valores de UNI (variando de 39,10 a 49,07%) em relação aos demais grupos. Apresentou ainda valores intermediários para PFM (1,45kg) e PFR (1,91kg). Já o Grupo 3, o mais numeroso, reuniu 21 genótipos

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

e apresentou valor médio maior para NFB (variando de 0,33 a 28,33%) e menor para PFR (variando de 0,06 a 1,72kg).

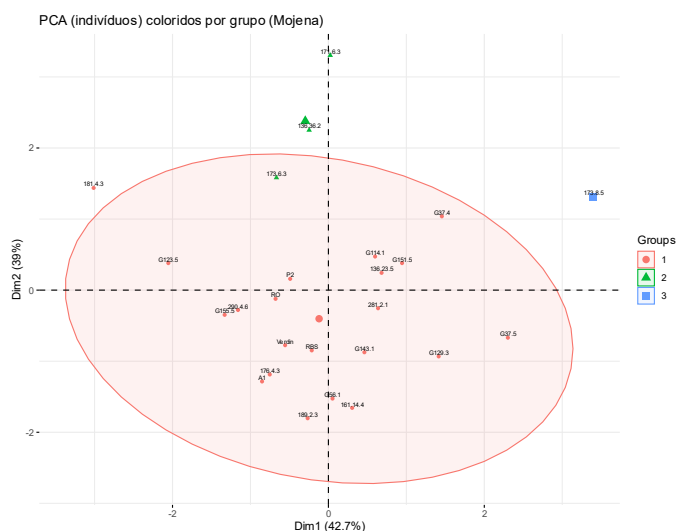
Figura 1 - Dendrograma UPGMA de 25 genótipos, elaborado a partir de dados morfológicos de 2023 (peso dos frutos maduros, peso dos frutos restantes, uniformidade de maturação e porcentagem de frutos bóia). O teste de Mojena (Mojena, 1977) foi aplicado para definir o ponto de corte no dendrograma, com uma linha vermelha indicando o nível de corte utilizado na formação dos grupos.



Fonte: Autor (2025).

A Análise de Componentes Principais (PCA) reforçou a separação dos grupos obtidos pelo UPGMA, distribuindo os genótipos em função das quatro características avaliadas (Figura 2). Essa abordagem confirmou a consistência da formação dos grupos e evidenciou a contribuição diferencial de cada variável para a variabilidade observada.

Figura 2 - Análise de Componentes Principais (PCA) de 25 genótipos, elaborada a partir de dados morfológicos de 2023 (peso dos frutos maduros, peso dos frutos restantes, uniformidade de maturação e porcentagem de frutos bóia). O teste de Mojena foi aplicado para auxiliar na definição de agrupamentos.



Fonte: Autor (2025).

Discussão

Este estudo permitiu gerar informações fundamentais sobre a variabilidade fenotípica de genótipos de café conilon, quantificada por meio de caracteres relacionados à qualidade dos frutos. A crescente demanda por cafés de qualidade superior no mercado torna a avaliação fenotípica de características que impactam diretamente a bebida uma etapa essencial para orientar programas de melhoramento genético (Febrianto *et al.*, 2023). Coletivamente, os resultados obtidos não apenas destacam a expressiva variabilidade entre os genótipos para os caracteres avaliados, mas também trazem informações aplicáveis para o melhoramento de *C. canephora*, ampliando a compreensão sobre quais atributos fenotípicos dos frutos são determinantes para a qualidade da bebida do café conilon.

A análise de agrupamento pelo método UPGMA, cuja consistência foi confirmada pela Análise de Componentes Principais (PCA), demonstrou que as características PGM, PFR, NFB e UNI foram determinantes para a discriminação dos genótipos. O genótipo 173.8.5 (grupo 1) destacou-se pelo seu elevado desempenho em PGM e UNI, combinado com baixos valores de NFB, o que demonstra seu potencial como material de interesse para seleção direta ou para cruzamentos. Esse perfil é particularmente relevante por reunir, em um único genótipo, atributos diretamente associados à qualidade superior da bebida, como a maior proporção de frutos maduros e a menor ocorrência de grãos bóia, que correspondem a frutos que flutuam em água devido à má formação (Silva *et al.*, 2014; Febrianto *et al.*, 2023).

A divergência fenotípica observada indica um elevado potencial para a realização de cruzamentos artificiais entre estes parentais, visando à exploração de heterose (Carmona *et al.*, 2015; Melo *et al.*, 2019). O Grupo 2, por sua vez, apresentou baixa uniformidade de maturação, mas com características intermediárias em relação aos demais grupos. Já o Grupo 3, sendo o mais numeroso e heterogêneo, constituiu a principal fonte de variabilidade da população estudada, apresentando ampla variação para NFB e PGM, o que fornece uma base genética valiosa para a seleção de parentais contrastantes.

A variação nos valores de NFB observada neste estudo encontra-se dentro do intervalo relatado para a espécie, apresentando inclusive valores inferiores aos máximos registrados na literatura. Ferrão *et al.* (2021) analisaram 600 acessos de *C. canephora* mantidos em três locais do Espírito Santo, abrangendo genótipos de Conilon e Robusta, e observaram variação de 1,07 a 71,30%. O genótipo 189.2.3, com valor de 89,25% em UNI, destaca-se por sua relevância, uma vez que a colheita de frutos no pico da maturidade pode resultar em bebidas de melhor qualidade, associada às elevadas concentrações de açúcares totais, tanto redutores quanto não redutores (SILVA *et al.*, 2014).

Os resultados, no geral, indicam a presença de materiais promissores, com aptidão tanto para uso direto como clones produtivos quanto para compor cruzamentos estratégicos. A identificação de genótipos superiores para características de qualidade, associada à existência de grupos geneticamente divergentes, reforça a importância da diversidade fenotípica para o melhoramento contínuo de *C. canephora*. Coletivamente, estes resultados oferecem alternativas para o desenvolvimento de cultivares mais produtivas e com qualidade de bebida superior.

Conclusão

O presente estudo revelou a existência de uma importante variabilidade fenotípica entre genótipos de *C. canephora*, com base na avaliação de características morfológicas associadas à qualidade dos frutos. Os resultados oferecem informações importantes para a seleção de materiais promissores, contribuindo para o desenho de estratégias mais eficientes e direcionadas no melhoramento genético do café conilon. Foram identificados materiais de destaque, como o genótipo 173.8.5, bem como contrastes fenotípicos relevantes que reforçam o potencial de exploração da heterose por meio de cruzamentos artificiais. Esses achados, portanto, oferecem suporte para a escolha de parentais para o desenvolvimento de novas cultivares de café conilon com qualidade superior, atendendo às demandas do mercado e agregando valor à cadeia produtiva.

Referências

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

BABOVA, OXANA; OCCHIPINTI, ANDREA; MAFFEI, MASSIMO E. Chemical partitioning and antioxidant capacity of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) of different geographical origin. **Phytochemistry**, v. 123, p. 33-39, 2016.

CARMONA, P. A. O. et al. Divergência genética entre acessos de batata-doce utilizando descritores morfoagronômicos das raízes. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 2, p. 241–250, 2015.

DE A. SILVA, S. et al. Coffee quality and its relationship with Brix degree and colorimetric information of coffee cherries. **Precision Agriculture**, 2014, v. 15, n. 5, p. 543-554.

FEBRIANTO, NOOR ARIEFANDIE; ZHU, FAN. Coffee bean processing: emerging methods and their effects on chemical, biological and sensory properties. **Food Chemistry**, 2023, 135489.

FERRÃO, ROMÁRIO GAVA et al. Cultivares de cafés Conilon e Robusta. 2021.

GONZALEZ, A. L. et al. Cup quality attributes of Catimors as affected by size and shape of coffee bean (*Coffea arabica* L.). **International Journal of Food Properties**, v. 22, n. 1, p. 758-767, 2019.

KIWUKA, CATHERINE et al. Genetic diversity of native and cultivated Ugandan Robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner): climate influences, breeding potential and diversity conservation. **PLoS One**, v. 16, n. 2, p. e0245965, 2021.

MELO, A. V. et al. Divergência genética entre híbridos de milho em condições de deficiência hídrica. **Revista de Agricultura Neotropical**, n. L, p. 66–75, 2019.

MOJENA, R. (1977). Hierarchical grouping methods and stopping rules: An evaluation. *The Computer Journal*, 20(4), 359–363. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/comjnl/20.4.359>

PEREIRA, GILBERTO V. DE MELO. et al. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans—a review. **Food Chemistry**, 2019, v. 272, p. 441-452.

RSTUDIO TEAM. *RStudio: Integrated Development for R*. Versão 2023.12.1+402. Boston, MA: RStudio, PBC, 2025. Disponível em: <https://www.rstudio.com/>. Acesso em: 08 set. 2025.

DE A. SILVA, S. et al. Coffee quality and its relationship with Brix degree and colorimetric information of coffee cherries. **Precision agriculture**, v. 15, n. 5, p. 543-554, 2014.

SILVEIRA, ALICE DE SOUZA et al. Sensory analysis of specialty coffee from different environmental conditions in the region of Matas de Minas, Minas Gerais, Brazil. **Revista Ceres**, 2016, v. 63, p. 436-443.

TOLEDO, PAULO R. A. B. et al. Relação entre os diferentes aspectos relacionados à qualidade do café e seus compostos voláteis. **Revisões Abrangentes em Ciência de Alimentos e Segurança de Alimentos**, v. 15, n. 4, p. 705-719, 2016.

WARSCHEFSKY, EMILY et al. De volta à natureza: aproveitando adaptações evolutivas para culturas resilientes por meio de hibridização sistemática com parentes selvagens de culturas. **Revista Americana de Botânica**, v. 101, n. 10, p. 1791-1800, 2014.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), aos Laboratórios de Genética e Melhoramento Vegetal e de Biometria, à FAPES, à CAPES e ao CNPq pelo apoio institucional e financeiro para a realização deste trabalho.